



Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA)

Homepage: sinta.eng.unila.ac.id



Penentuan Kapasitas dan Kelayakan Ekonomis PLTS Atap di UPTD Puskesmas Rasuan Kabupaten Ogan Komering Ulu Provinsi Sumatera Selatan

O Zebua*, H Gusmedi, Z Huda, M Komaruddin dan Irhamsah

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Lampung, Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro no.1, Bandar Lampung – 35145

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:
Diterima 11/11/2024
Direvisi 13/01/2025
Dipublish 22/05/2025

Kata kunci:
Energi listrik
Kelayakan ekonomis
PLTS atap
Penentuan kapasitas
Puskesmas rasuan

ABSTRAK

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) Atap yang terhubung ke jaringan layanan listrik umum (on-grid) semakin diminati sebagai sumber energi listrik alternatif bagi perumahan atau gedung. Namun kelayakan ekonomis dari investasi pemasangan PLTS Atap harus dipertimbangkan sebelum membangunnya. Makalah ini bertujuan untuk menentukan kapasitas suatu PLTS Atap yang layak secara ekonomis untuk memenuhi kebutuhan listrik suatu gedung dan perumahan. Studi kasus yang dipilih adalah gedung UPTD (Unit Pelayanan Teknis Daerah) Puskesmas Rasuan di Kabupaten Ogan Komering Ulu Provinsi Sumatera Selatan. Profil beban listrik dari puskesmas selama sebulan diukur dan digunakan sebagai data beban listrik setiap bulan. Dua desain PLTS Atap masing-masing dibuat dengan menggunakan panel surya dengan kapasitas 350Wp dan 440Wp. Indikator kelayakan ekonomis setiap desain PLTS dihitung baik dengan mempertimbangkan tanpa penjualan energi listrik maupun penjualan energi listrik ke grid. Hasil penelitian menunjukkan bahwa investasi semua desain PLTS Atap yang dibuat tidak layak secara ekonomis bila energi listrik berlebih dari PLTS Atap tidak dijual ke grid. Sebaliknya, investasi semua desain PLTS Atap layak secara ekonomis bila energi listrik dapat dijual ke grid. Desain PLTS Atap yang menggunakan panel surya 440Wp dengan kapasitas total 2,732 kW mempunyai nilai indikator kelayakan ekonomis yang paling baik.

* Penulis korespondensi.
E-mail: osea.zebua@eng.unila.ac.id

1. Pendahuluan

Pemanfaatan energi surya sebagai suatu sumber energi listrik alternatif semakin berkembang dalam beberapa dekade terakhir. Hal ini dilakukan di dalam upaya untuk mengurangi ketergantungan pada pembangkitan listrik yang menggunakan energi fosil. Salah satu jenis pembangkitan energi listrik dari energi surya yang banyak digunakan adalah jenis pembangkit listrik tenaga surya fotovoltaik, yakni dengan menggunakan peralatan panel surya (Syamsudin dkk., 2017)

Sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dengan menggunakan panel surya yang ditempatkan di atap perumahan atau gedung telah banyak digunakan di negara-negara maju. Hal ini dilakukan untuk mengatasi keterbatasan lahan bagi penempatan panel surya. Sistem ini sering disebut dengan sistem PLTS Atap. Pembangkitan listrik dari panel surya tergantung pada iradiasi sinar matahari, waktu penyinaran matahari, temperatur panel surya, kecepatan angin, sudut kemiringan panel surya, jumlah sel surya yang terdapat pada panel surya, dan lain-lain. Waktu penyinaran matahari yang terbatas membuat sistem PLTS atap harus terhubung ke jaringan layanan listrik umum (on-grid) untuk tetap memenuhi kebutuhan listrik perumahan atau gedung di malam hari atau pada waktu iradiasi matahari sudah jauh berkurang (Zebua dkk., 2024)

PLTS Atap terdiri dari komponen utama, yakni panel surya dan inverter, dan komponen tambahan seperti dc-to-dc *boost converter*, kontrol MPPT (*maximum power point tracker*) dan sistem pentanahan. Untuk membangun sistem PLTS Atap diperlukan biaya awal yang besar dan kelayakan ekonomis dari investasi sistem PLTS Atap harus dipertimbangkan. Di Indonesia, pemerintah melalui Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) tidak lagi membatasi kapasitas PLTS yang dapat dipasang oleh setiap konsumen individu maupun perusahaan penyedia energi listrik (prosumer). Namun kebijakan dalam pembelian energi listrik berlebih dari sistem PLTS masih belum ada (Kementerian Energi Sumber Daya Mineral, 2024).

Investasi sistem PLTS Atap juga harus memenuhi syarat kelayakan ekonomis suatu investasi. Beberapa indikator kelayakan ekonomis suatu investasi yang sering digunakan antara lain, nilai bersih investasi saat ini atau *Net Present Value* (NPV), tingkat suku bunga yang membuat NPV sama dengan nol atau *Internal Rate Return* (IRR), indeks rasio laba investasi atau *Profitability Index* (PI) dan periode pengembalian investasi atau *Payback Period* (PBP) (Sugirianta dkk., 2016).

Makalah ini bertujuan untuk menentukan kapasitas sistem PLTS Atap dengan investasi yang layak secara

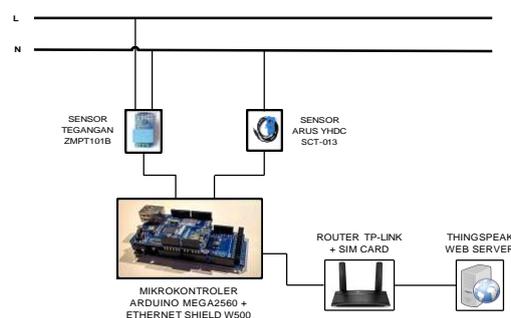
ekonomis bagi kebutuhan energi listrik suatu perumahan atau gedung. Studi kasus yang digunakan adalah UPTD Puskesmas Rasuan di Kabupaten Ogan Komering Ulu Provinsi Sumatera Selatan. Profil beban listrik dari Puskesmas selama satu bulan diukur dan hasil pengukuran dijadikan profil beban listrik Puskesmas setiap bulan. Tiga desain sistem PLTS Atap dibuat dengan masing-masing desain menggunakan panel surya dengan kapasitas yang berbeda-beda. Nilai investasi awal dari masing-masing desain dihitung dan indikator-indikator kelayakan ekonomis investasi, yakni NPV, IRR, PI dan PBP dari setiap desain juga dihitung, baik dengan pertimbangan tanpa penjualan maupun dengan penjualan energi listrik berlebih dari PLTS Atap. Hasil penelitian menunjukkan kapasitas PLTS Atap yang sesuai untuk dipasang di Puskesmas Rasuan adalah bila mempertimbangkan penjualan energi listrik.

2. Metodologi

2.1. Pengukuran beban listrik

Profil beban listrik dari UPTD Puskesmas Rasuan diukur dengan menggunakan peralatan berbasis mikrokontroler dengan sensor tegangan yang mengukur tegangan dan sensor arus yang mengukur arus. Daya listrik dan faktor daya dihitung dari hasil pengukuran tegangan dan arus. Besaran listrik hasil pengukuran dan perhitungan kemudian dikirim ke laman IoT Thingspeak melalui Ethernet Shield yang terhubung dengan router yang dilengkapi dengan SIM Card (Zebua, dkk., 2022).

Blok diagram rangkaian alat ukur ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok diagram rangkaian alat ukur.

2.2. Pengambilan data iradiasi dan temperatur

Pengambilan data iradiasi dan temperatur diperoleh dari data iradiasi dan temperatur tahun 2023 pada lokasi dimana Puskesmas Rasuan berada. Data ini telah tersedia di *database* perangkat lunak PVsyst Meteoronorm. Data selama 1 tahun digunakan sebagai data iradiasi dan temperatur untuk setiap tahun.

2.3. Desain PLTS atap

PLTS Atap *on-grid* mempunyai komponen utama panel surya dan inverter. Inverter dipilih dengan memperhatikan profil beban listrik dari Puskesmas. Kapasitas daya, arus dan tegangan keluaran dari inverter harus memenuhi kapasitas daya, arus dan tegangan dari beban listrik. Dan kapasitas daya, tegangan dan arus yang dihasilkan oleh panel surya juga harus memenuhi kapasitas daya, tegangan dan arus masukan (*input*) dari inverter yang dipilih.

2.3.1. Menentukan luas area panel surya

Luas area dari panel surya, A_{PV} , dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$A_{PV} = \frac{E_L}{G_{av} \times \eta_{PV} \times T_{CF} \times \eta_{inv}} \quad (1)$$

dimana E_L adalah energi harian rata-rata beban per hari, G_{av} adalah GHI rata-rata dalam setahun, η_{PV} adalah efisiensi satu modul panel surya, T_{CF} adalah faktor koreksi dari temperatur dan η_{inv} adalah efisiensi inverter. Dalam perhitungan T_{CF} , nilai temperatur yang digunakan adalah nilai temperatur tertinggi dalam setahun.

2.3.2. Menghitung daya keluaran desain PLTS atap

Dari luas panel surya yang diperoleh, perhitungan daya yang dihasilkan oleh desain PLTS (dalam Wattpeak/Wp) adalah:

$$P_{PV} = A_{PV} \times G_{STC} \times \eta_{PV} \quad (2)$$

dimana G_{STC} adalah intensitas radiasi matahari dalam kondisi test standar, yakni sebesar 1000 W/m².

2.3.3. Menghitung jumlah panel surya

Jumlah panel surya dalam desain PLTS, N_{PV} , dihitung dengan persamaan:

$$N_{PV} = \frac{P_{PV}}{P_{1PV}} \quad (3)$$

dimana P_{1PV} adalah daya maksimum (Wp) dari satu modul panel surya.

2.3.4. Menghitung konfigurasi panel surya

Konfigurasi panel surya dari desain panel surya harus memperhatikan tegangan dan arus masukan dari inverter yang digunakan. Jumlah modul panel surya yang dihubungkan atau disusun (string) secara seri harus sesuai dengan tegangan masukan dari inverter, sementara jumlah modul yang terhubung (string) paralel harus sesuai dengan rentang arus masukan inverter.

Jumlah modul seri minimal untuk setiap string, $N_{seri,min}$, dihitung dengan persamaan:

$$N_{seri,min} = \frac{V_{inv,min}}{V_{oc}} \quad (4)$$

Jumlah modul seri maksimal untuk setiap string, $N_{seri,max}$, dihitung dengan persamaan:

$$N_{seri,max} = \frac{V_{inv,max}}{V_{mpp}} \quad (5)$$

dimana $V_{inv,min}$ adalah tegangan masukan minimum dari inverter, $V_{inv,max}$ adalah tegangan masukan maksimum dari inverter, V_{oc} adalah tegangan rangkaian terbuka dari panel surya dan V_{mpp} adalah tegangan pada titik daya maksimum.

Jumlah modul paralel untuk setiap string, $N_{paralel,max}$, dihitung dengan persamaan:

$$N_{paralel,max} = \frac{I_{inv,max}}{I_{mpp}} \quad (6)$$

dimana $I_{inv,max}$ adalah arus masukan maksimum dari inverter dan I_{mpp} adalah arus pada titik daya maksimum dari panel surya.

2.4. Perhitungan energi listrik keluaran panel surya

Energi listrik dari panel surya selama satu hari (dalam kWh), E_{pvd} , dihitung dengan persamaan:

$$E_{pvd} = P_{pv} \times n_j \quad (7)$$

dengan n_j adalah jumlah jam pelayanan panel surya. Sehingga, energi listrik yang dihasilkan panel surya dalam satu bulan, E_{pvm} , yang ditulis sebagai:

$$E_{pvm} = P_{pv} \times n_j \times n_d \quad (8)$$

dimana n_d adalah jumlah hari dalam satu bulan.

2.5. Perhitungan indikator kelayakan ekonomis

Indikator-indikator kelayakan ekonomis suatu investasi dari PLTS Atap antara lain adalah NPV (*Net Present Value*), IRR (*Internal Rate Return*), PI (*Profitability Index*) dan PBP (*Payback Period*). NPV dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t} \quad (9)$$

dengan NCF_t adalah aliran kas bersih (*Net Cash Flow*) pada tahun ke- t , yang dihitung dengan:

$$NCF_t = \sum_{n=1} CIF_n - LCC_n \quad (10)$$

dimana CIF_n adalah aliran kas masuk (*Cash Inflow*) selama operasi, LCC_n adalah biaya selama siklus operasi yang merupakan aliran kas keluar selama operasi, dan $1/(1+i)^t$ adalah faktor diskonto.

LCC_n dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$LCC_n = \sum_{t=1} C_{inv} + C_{O\&M} + C_{Rep} \quad (11)$$

dimana C_{inv} adalah biaya investasi, C_{Rep} adalah biaya penggantian alat dan $C_{O\&M}$ adalah biaya operasi dan pemeliharaan. $C_{O\&M}$ dan C_{Rep} masing-masing dihitung

dengan persamaan 12 dan 13 (Rohana dan Zulfikar, 2018):

$$C_{O\&M} = 1\% \times C_{inv} \quad (12)$$

$$C_{Rep} = 1\% \times C_{inv} \quad (13)$$

Perhitungan CIF_n (aliran kas masuk) diperoleh dengan beberapa persamaan berikut. Jika tanpa mempertimbangkan penjualan energi listrik ke grid, maka:

$$CIF_n = Saving_n \quad (14)$$

Bila mempertimbangkan penjualan energi listrik, maka:

$$CIF_n = Saving_n + Profit_n \quad (15)$$

dimana $Saving_n$ adalah penghematan selama operasi dan $Profit_n$ adalah keuntungan yang diperoleh selama operasi. Penghematan selama operasi dihitung dengan persamaan:

$$Saving_n = E_{pvu} \times T_{SB} \quad (16)$$

Sementara, keuntungan selama operasi dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Profit_n = E_{pve} \times T_{SB} \quad (17)$$

dimana E_{pvu} adalah jumlah energi listrik berlebih total yang dihasilkan oleh PLTS Atap selama operasi dan T_{SB} adalah tarif jual beli energi listrik.

IRR dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$IRR = i_1 + \frac{NPV1}{NPV1 - NPV2} \times (i_1 - i_2) \quad (18)$$

dimana i_1 adalah tingkat suku bunga pada saat nilai NPV terakhir positif, i_2 adalah tingkat suku bunga pada saat nilai NPV terakhir negatif, $NPV1$ adalah nilai NPV terakhir yang positif, dan $NPV2$ adalah nilai NPV terakhir yang negatif.

PI dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$PI = NPV/a \quad (19)$$

dimana NPV adalah nilai bersih saat ini dan a adalah nilai investasi awal.

PBP dihitung dengan persamaan:

$$PBP = n + \frac{a - b}{c - b} \times 1 \quad (20)$$

dimana n adalah tahun terakhir dimana aliran kas masih belum dapat menutupi biaya investasi, a adalah biaya investasi awal, b dan c masing-masing adalah jumlah kumulatif aliran kas pada tahun ke- n dan tahun ke- $(n+1)$.

Nilai indikator standar yang harus dipenuhi untuk menyatakan suatu investasi PLTS Atap layak secara ekonomi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Indikator kelayakan ekonomi.

Indikator	Nilai
NPV	>0
IRR	>10%
PI	>1
PBP	<25 tahun

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Hasil pengukuran beban listrik dan energi listrik

Pengukuran beban listrik Puskesmas Rasuan dilakukan dengan menggunakan alat ukur hasil perancangan sesuai dengan blok diagram yang ditunjukkan pada Gambar 1. Bentuk fisik alat ukur ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Bentuk fisik alat ukur.

Pengukuran beban listrik dilakukan selama rentang waktu sebulan, dimulai tanggal 20 Juni 2024 sampai dengan tanggal 20 Juli 2024. Pengukuran dilakukan dimulai setiap hari, mulai pukul 07.00 sampai dengan pukul 18.00. Data hasil pengukuran dan perhitungan dikirim ke laman server IoT Thingspeak setiap 15 menit sekali. Hasil pengukuran beban 4 listrik harian yang ditampilkan dari laman Thingspeak ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Tampilan hasil pengukuran di laman thingspeak.

Dari hasil pengukuran yang diperoleh selama sebulan, waktu pengiriman data ke laman Thingspeak tidak selalu setiap 15 menit, bahkan banyak data yang terkirim melebihi setiap 15 menit. Hal ini disebabkan kualitas sinyal pada lokasi pengukuran yang tidak

begitu baik. Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa Puskesmas Rasuan hanya beroperasi sampai dengan pukul 13.00, sebab data arus hasil pengukuran mulai berkurang setelah waktu tersebut dan tidak bertambah hingga melebihi pukul 19.00. Puskesmas tidak beroperasi pada hari Sabtu dan hari Minggu.

Beban listrik yang dipertimbangkan dapat dilayani oleh PLTS Atap adalah beban listrik antara pukul 08.00 sampai dengan pukul 17.00, atau selama 9 jam setiap hari. Energi listrik rata-rata setiap hari yang digunakan oleh Puskesmas selama 9 jam tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pemakaian energi listrik harian puskesmas rasuan.

Hari	Tanggal	Energi Listrik (kWh)	Har i	Tanggal	Energi Listrik (kWh)
1	20-6-2024	8,882	17	6-7-2024	6,606
2	21-6-2024	9,659	18	7-7-2024	2,982
3	22-6-2024	8,021	19	8-7-2024	8,029
4	23-6-2024	3,929	20	9-7-2024	10,230
5	24-6-2024	12,366	21	10-7-2024	9,091
6	25-6-2024	9,395	22	11-7-2024	10,235
7	26-6-2024	8,882	23	12-7-2024	8,387
8	27-6-2024	11,211	24	13-7-2024	6,240
9	28-6-2024	7,852	25	14-7-2024	2,876
10	29-6-2024	9,085	26	15-7-2024	11,619
11	30-6-2024	4,373	27	16-7-2024	9,952
12	1-7-2024	11,186	28	17-7-2024	8,159
13	2-7-2024	10,113	29	18-7-2024	10,226
14	3-7-2024	9,590	30	19-7-2024	8,337
15	4-7-2024	10,391	31	20-7-2024	6,310
16	5-7-2024	8,531			
Jumlah pemakaian energi listrik total					262,745

Pemakaian energi listrik UPTD Puskesmas Rasuan selama sebulan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 dibuat sebagai pola pemakaian energi listrik dari Puskesmas setiap bulan selama setahun. Pemakaian beban listrik pada setiap bulan Februari adalah jumlah pemakaian energi listrik selama 28 hari, sementara pemakaian energi listrik pada bulan April, Juni, September dan November adalah jumlah pemakaian energi listrik selama 30 hari. Sementara, pada bulan-bulan selebihnya adalah jumlah pemakaian energi listrik yang sama dengan pada Tabel 2, yakni, selama 31 hari.

3.2. Hasil pengambilan data iradiasi dan temperatur

Data iradiasi matahari dan temperatur pada lokasi Puskesmas Rasuan adalah data iradiasi dan temperatur tahun 2023 yang diperoleh dari perangkat lunak PVsyst Meteoronorm dengan titik latitude -3,976711 dan longitude 104,577889. Data tersebut ditampilkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Data *global horizontal irradiance* (GHI) dan data temperatur.

Bulan	GHI (kWh/m ² /day)	Temperatur (°C)
Januari	4,65	26,8
Februari	5,02	26,7
Maret	5,18	27,3
April	5,28	27,3
Mei	4,67	28,1
Juni	4,61	27,4
Juli	4,81	27,4
Agustus	5,11	27,8
September	5,06	27,5
Oktober	5,14	27,8
November	5,07	27,0
Desember	4,74	27,0
Rata-rata	4,94	27,34

3.3. Hasil desain PLTS atap

Kapasitas daya terpasang pada Puskesmas Rasuan adalah 9,2 kVA dengan arus maksimum 40 A. Sementara arus beban maksimum yang terukur adalah 27 A. Oleh karena itu, inverter yang dipilih adalah inverter dengan merk Sunways STS-2.5KTL-S. dengan spesifikasi teknik seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. Inverter ini adalah jenis inverter on-grid dan sudah memasukkan fungsi pengontrol MPPT (Sunways Technology, 2024)

Tabel 4. Spesifikasi teknis inverter.

Efisiensi	Efisiensi (%)	97,5
Input	Daya PV minimum (Wp)	4.000
	Tegangan input maksimum (V)	500
	Rentang tegangan operasi (V)	80-450
	Arus input maksimum (A)	12,5
	Jumlah MPPT	1
Output	Hubungan grid (fasa)	1
	Rating daya output (kW)	2,5
	Rating tegangan output (V)	220/230
	Rating frekuensi grid AC (Hz)	50/60
	Faktor daya	0,8
Data umum	Berat (kg)	6,5
	Harga (Rp)	6.664.000

Berdasarkan spesifikasi inverter yang telah dipilih, maka desain panel surya harus disusun sesuai dengan spesifikasi input dari inverter. Terdapat 2 jenis panel surya yang digunakan untuk desain PLTS Atap, yakni panel surya dengan masing-masing kapasitas per modulnya 350 Wp dan 440 Wp (Longi Solar Datasheet, 2024).

Untuk memperoleh kapasitas tegangan dan arus yang sesuai dengan kapasitas tegangan dan arus *input* dari inverter, maka setiap modul tunggal dari panel surya harus disusun secara paralel untuk memperoleh tegangan yang lebih besar dan disusun secara seri untuk memperoleh arus yang lebih besar. Susunan ini disebut dengan *string*.

Dengan menggunakan persamaan (1)-(6), maka desain sistem PLTS Atap dengan menggunakan panel surya masing-masing dengan kapasitas 350Wp dan 440Wp ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Desain PLTS atap.

Panel Surya	350 Wp	440 Wp
Hasil Desain	1 string seri dari 8 modul	1 string seri dari 6 modul
Jumlah Modul	8	6
Luas Desain (m ²)	14,57	13,04
Tegangan pada Daya Maksimum (V)	268,8	250,2
Arus pada Daya Maksimum (A)	10,42	10,92
Kapasitas (kW)	2,8	2,732

Luas kedua desain panel surya yang dibuat jauh lebih kecil dari luas atap bangunan Puskesmas Rasuan yang luasnya 200 m².

3.4. Perhitungan daya dan energi listrik panel surya

Daya listrik, energi listrik setiap hari dan energi listrik setiap bulan masing-masing dihitung dengan menggunakan persamaan 2, 7 dan 8. Dengan menggunakan data iradiasi horizontal dan temperatur pada Tabel 3, data luas masing-masing desain PLTS Atap pada Tabel 5 dan efisiensi setiap modul panel surya, maka hasil perhitungan energi listrik dari masing-masing desain PLTS Atap selama setahun ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil perhitungan energi listrik yang dihasilkan setiap desain PLTS atap.

Bulan	Desain 1 350 Wp (kWh)	Desain 2 440 Wp (kWh)
Januari	734,85	715,82
Februari	716,54	697,99
Maret	818,60	797,40
April	807,49	786,58
Mei	738,01	718,90
Juni	705,02	686,77
Juli	760,13	740,45
Agustus	807,54	786,63
September	773,84	753,80
Oktober	812,28	791,25
November	775,37	755,29
Desember	749,07	729,67

Perhitungan energi listrik yang dihasilkan dari masing-masing desain PLTS Atap ini tidak mempertimbangkan kemiringan dari pemasangan panel surya, kecepatan angin, faktor degradasi panel surya dan lain-lain.

3.5. Perhitungan indikator kelayakan ekonomis

Untuk menghitung indikator kelayakan ekonomis, maka perlu dihitung nilai investasi awal dari masing-masing desain PLTS Atap yang telah dibuat. Nilai investasi awal meliputi biaya pembelian komponen-komponen penyusun PLTS Atap, yakni panel surya, inverter, komponen kabel dan rangka panel surya, komponen pentanahan dan kabel pentanahan serta biaya pemasangan instalasi. Biaya operasi dan pemeliharaan (O&M) dan biaya penggantian alat masing-masing adalah sebesar 1% dari biaya investasi awal (persamaan 12 dan 13). Tingkat suku bunga yang digunakan pada perhitungan adalah sebesar 6,25%.

Nilai investasi awal dari masing-masing desain ditunjukkan pada Tabel 7 berikut ini.

Tabel 7. Nilai investasi awal desain PLTS atap.

Desain 1-350 Wp (Rp)	Desain 2-440 Wp (Rp)
52.970.915	50.417.315

Indikator kelayakan ekonomis dari investasi PLTS Atap dihitung dengan pertimbangan tanpa penjualan energi listrik berlebih maupun dengan mempertimbangkan penjualan energi listrik ke pihak layanan listrik umum. Perhitungan indikator kelayakan ekonomis dilakukan dengan menggunakan persamaan 9 sampai 20. Tarif jual beli yang digunakan adalah tarif listrik tipe R3/TR dengan kapasitas 6600 VA ke atas, yakni sebesar Rp. 1699,53.

Hasil perhitungan indikator kelayakan ekonomis untuk kedua kasus dari masing-masing desain PLTS Atap ditunjukkan pada Tabel 8 dan Tabel 9.

Tabel 8. Hasil perhitungan indikator kelayakan ekonomis desain PLTS atap menggunakan panel surya 350 Wp.

Indikator	Tanpa Penjualan Energi Listrik	Dengan Penjualan Energi Listrik
	NPV (Rp)	-337.846,28
IRR (%)	6	27
PI	-0,006	2,29
PBP (tahun)	13,75	3,69

Tabel 9. Hasil perhitungan indikator kelayakan ekonomis desain PLTS atap menggunakan panel surya 440 Wp.

Indikator	Tanpa Penjualan Energi Listrik	Dengan Penjualan Energi Listrik
	NPV (Rp)	2.665.679,21
IRR (%)	7	28
PI	0,053	2,373
PBP (tahun)	12,28	3,6

Dari Tabel 8 dan Tabel 9 dan membandingkannya dengan nilai indikator yang ditunjukkan pada Tabel 1, dapat dilihat bahwa investasi semua desain PLTS Atap yang tidak melakukan penjualan energi listrik berlebih

adalah tidak layak secara ekonomis. Sementara, investasi dari semua desain PLTS Atap dengan penjualan energi listrik berlebih adalah layak secara ekonomis.

Desain PLTS Atap dengan menggunakan susunan panel surya dengan kapasitas setiap modul 440 Wp dan dengan kapasitas 2,732 kW mempunyai nilai investasi yang paling layak secara ekonomis. Desain PLTS Atap ini mempunyai nilai indikator IRR dan PI yang paling besar dan nilai PBP yang paling kecil.

Hal-hal yang mempengaruhi ketidaklayakan investasi desain PLTS Atap bila tidak melakukan penjualan energi listrik adalah:

- a. Aliran kas masuk selama beroperasi (CIF_n) hanya diperoleh dari penghematan, $Saving_n$ (persamaan 16). Penghematan ini diperoleh dari besar biaya pemakaian energi listrik untuk selama 9 jam sehari dimana selama waktu tersebut PLTS Atap mampu memenuhi kebutuhan energi listriknya.
- b. Besar pemakaian energi listrik harian Puskesmas Rasuan selama 9 jam yang sangat kecil, dengan pemakaian maksimum 12,336 kWh dibandingkan dengan energi listrik yang dihasilkan dari desain PLTS Atap yang umumnya melebihi 60 kWh. Hal ini menghasilkan nilai penghematan yang relatif kecil. Selain itu, Puskesmas Rasuan tidak beroperasi pada hari Sabtu dan Minggu.

4. Kesimpulan

Investasi desain PLTS Atap yang dibuat untuk UPTD Puskesmas Rasuan adalah tidak layak secara ekonomis bila tidak dilakukan penjualan energi listrik berlebih yang dihasilkan PLTS Atap. Namun, bila dilakukan penjualan energi listrik berlebih ke pihak layanan listrik umum, investasi semua desain PLTS Atap yang dibuat layak secara ekonomis. Desain PLTS Atap menggunakan modul panel surya 440 Wp dengan kapasitas total 2,732 kW mempunyai nilai indikator kelayakan ekonomis yang paling baik.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Fakultas Teknik Universitas Lampung yang memberikan pendanaan bagi penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Kementrian Energi Sumber Daya Mineral, (2024), *Peraturan Menteri ESDM Nomor 2 Tahun 2024 Tentang PLTS Atap yang Terhubung Pada Jaringan Tenaga Listrik Pemegang Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik untuk Kepentingan Umum* (IUPTLU).
- Syamsudin, Z., Hidayat, S., Effendi, M.N., (2017), Perencanaan Penggunaan PLTS di Stasiun Kereta Api Cirebon Jawa Barat, *Jurnal Energi dan Kelistrikan*, 9(1), 70-83.
- Zebua, O., Wijayawardhana, N., Huda, Z., (2024), Analisis Kelayakan Ekonomi dan *Self-Consumption* dari PLTS On-grid dan Hibrid Kapasitas 1328 kWp, *ELECTRICIAN-Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, 18(1), 41-49.
- Harmini, Nurhayati T. (2021), Optimalisasi Pemanfaatan *Grid Connected Rooftop Solar Photovoltaic (SPV)* sebagai Pengembangan *Green Energy System*, *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, 8(1), 24-32.
- Sugirianta, I.B.K., Giriantari, I.A.D., Kumara, I.N.S., (2016), Analisis Keekonomian Tarif Listrik Pembangkit Listrik Tenaga Surya 1 MWp Bangli dengan Metode *Life Cycle Cost*, *Teknologi Elektro*, 15(2).
- Zebua, O., Komalasari, E., Alam, S., (2022), Monitoring *Loss of Life* Transformator Distribusi Menggunakan Internet of Things, *Dielektrika*, 9(1), 80-87.
- Rohana, R., Zulfikar, Z., Optimalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Meningkatkan Kapasitas Daya Listrik, *Kumpulan Penelitian dan Pengabdian Dosen*, 1(1).
- Sunways Technology, (2024), Sunways STS-2.5KTL-S Datasheets, <https://sunways-tech.eu/>, terakhir diakses 28 September 2024.
- Longi Solar PV Datasheets, (2024), www.longi.com, terakhir diakses 13 Agustus 2024.